

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka / koneautomaatio

Tommi Rämö

PIKAMALLINNUKSEN SOVELLUKSET JA TOIMINNAN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö 2010

## TIIVISTELMÄ

### KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

RÄMÖ, TOMMI

Insinöörityö

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Marraskuu 2010

Avainsanat

Pikamallinnuksen sovellukset ja toiminnan kehittäminen

43 sivua + 2 liitesivua

Osaamisolapääällikkö Markku Huhtinen

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Mikko Pitkäaho

mallintaminen, skannaus, tuotekehitys

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu on mukana viiden muun suomalaisen ammattikorkeakoulun ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa Rocket-kehittämiprojektissa, jonka yhtenä toimenpiteenä on kehittää rapid prototyping -toimintamalleja. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää rapid prototypingin ja 3D-skannauksen perusteet ja niiden käyttöä tuotekehityksessä. KyAMK:n pikamallinnus-toiminnan kehittämisen lähtökohtana työssä on mahdollisen pikamallinnuskoneen tai 3D-skannerin hankinta.

Työssä on käyty läpi pikamallinnuksen ja 3D-skannauksen perustekniikat ja niiden käyttökohteet tuotekehityksessä sekä tutustuttu 3D-skanneriin ja sen käyttöön Hämeen ammattikorkeakoulussa Riihimäellä. Alan kirjallisuuden ohella tiedonhankinta pohjautuu haastatteluihin ja tutustumiskäynteihin.

Työn kuluessa selkiytyi 3D-skannerin hankinta konkreettiseksi toimenpiteeksi KyAMK:n pikamallinnus toiminnan kehittämisessä. Skanneri tukisi Kouvolaan muotoilun toimipisteeseen suunniteltavan 3D-mallinnuslaboratorion sekä Kotkan Metsolan toimipisteen tekniikan ja vene-alan toimintaa. Työ kertoo yleisiä suosituksia ja perusteita skannerin valinnalle, valinnan ratkaisevat asiat, kuten käyttökohteet, ovat aina tapauskohtaisia.

## ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Mechanical and Industrial Engineering

RÄMÖ, TOMMI

Applications of Rapid Prototyping and Operational  
Development

Bachelor's Thesis

43 pages + 2 pages of appendices

Supervisor

Markku Huhtinen, Manager of Departments

Commissioned by

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu Oy, Mikko Pitkääho

October 2010

Keywords

modeling, scanning, product development

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu (KyUAS) along with six other Finnish schools are involved in the Rocket development project, whose one aim is to develop rapid prototyping operations. The goal of this thesis is to explain the basics of rapid prototyping and 3D scanning and their use in product development. The development of rapid prototyping production work in KyUAS is based on the possible acquisition of rapid prototyping machine or a 3D-scanner.

The thesis goes through the basic techniques of rapid prototyping and 3D scanning and their applications in product development. The thesis also has look at working with a 3D scanner. In addition to the literature, the acquisition of information is based on interviews and excursions.

During the work it became clear that the 3D scanner acquisition must be realized as a concrete measure for Kymenlaakson ammattikorkeakoulu's rapid prototyping development. The 3D scanner would support the planned Kouvola design office 3D modeling laboratory as well as the Kotka Metsola office in engineering and boat manufacturing activities. This paper gives general recommendations and criterias for the selection of the scanner. The critical issues of scanner selection, such as applications, are always case-specific.

## TERMIT JA LYHENTEET

### **3D-CAD**

Tietokoneavusteinen 3D-suunnittelu.

### **AF**

Additive fabrication, materiaalia lisäävä valmistus.

### **CT**

Computed tomography, tietokonetomografia. Röntgenmenetelmä, jolla saadaan poikkileikkauskuvia kohteesta.

### **MRI**

Magnetic resonance imaging, magneettikuvaus. Magneettikentän ja atomien väliseen vaikutukseen perustuva kuvantamismenetelmä.

### **RM**

Rapid manufacturing, fyysisten mallien pikavalmistus, jonka alalajeja ovat prototyyppien pikamallinnus sekä työkalujen ja tuotantokomponenttien pikavalmistus.

### **RP**

Rapid prototyping, prototyyppien pikamallinnus.

### **STL-tiedostomuoto**

Yleisin pikamallinnuslaitteiden käyttämä tiedostomuoto.

## SISÄLLYS

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

### TERMIT JA LYHENTEET

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	ROCKET-hanke	7
1.2	Työn tavoite	7
2	HISTORIA	8
3	RAPID MANUFACTURING – PIKAVALMISTUS	9
3.1	Prototyyppien pikamallinnus	10
3.2	Työkalujen pikavalmistus	11
3.3	Tuotantokomponenttien pikavalmistus	11
4	RAPID PROTOTYPING-TEKNIIKAT	11
4.1	Stereolitografia (SLA)	11
4.2	Selective Laser Sintering, valikoiva lasersintraus (SLS)	13
4.3	Fused Deposition Modeling (FDM)	15
4.4	3D-laminointi (LOM)	17
4.5	3D-tulostus (3D-printing/plotting)	19
4.6	DMLS – Direct Metal Laser Sintering	20
5	MATERIAALIT	21
6	PIKAVALMISTUKSEN KÄYTTÖ TUOTEKEHITYKSESSÄ	22

6.1	Pikavalmistuksen sovellukset tuotekehityksessä	22
6.1.1	Geometrian tarkastus ja visuaaliset tarkastelut	22
6.1.2	Toiminnallinen ja ergonomian testaus	23
6.1.3	Huollettavuuden suunnittelu ja layout-suunnittelu	23
6.1.4	Prototyyppien rakentaminen	23
6.1.5	Työvälinevalmistus	23
6.1.6	Pakkaussuunnittelu	24
6.1.7	Tuotteen esittely	24
6.1.8	Markkinointi	24
6.2	Yritysten RP:n käyttö	24
6.3	Koulujen RP:n käyttö	25
6.3.1	RP:n käyttö KyAMK:n Kouvola toimipisteessä	25
7	3D-SKANNAUS	26
7.1	Ei-koskettavat menetelmät	27
7.2	Koskettavat menetelmät	28
8	SKANNERIKOKOONPANO	29
9	KÄYTTÖSOVELLUKSLIA	29
10	CASE – HAMK RIIHIMÄKI	30
10.1	Skannaus ja kuvankäsittely	31
10.2	Auton korimallin skannaus	33
11	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	40
	LÄHTEET	42
	LIITTEET	44
	Liite 1. Planix Oy:n tarjoukset	
	Liite 2. ZScanner Product Line	

## 1 JOHDANTO

### 1.1 ROCKET-hanke

ROCKET on Euroopan aluekehitysrahaston (EAKR) ja Päijät-Hämeen liiton rahoittama kehittämisprojekti. Hankkeen tavoitteena on kehittää suomalaisten korkeakoulujen, metalli- ja koneteknologia-alan yritysten innovaatiotoimintaa ja kansainvälistymistä tukevia verkostoja ja rakenteita. Hankkeeseen osallistuu yhteensä seitsemän koulua: Kymenlaakson, Hämeen, Saimaan, Laurea, Metropolia ja Turun ammattikorkeakoulut sekä Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Hankkeen suunniteltu toteutusaika on 1.11.2009–31.10.2012 ja kokonaisbudjetti 1,6 miljoonaa euroa. Koulujen lisäksi hankkeeseen osallistuu koulujen kanssa yhteistyössä toimivia yrityksiä. Tähän mennessä hankkeeseen on osallistunut 29 yritystä. (1)

Koulujen ja yritysten yhteistyö toteutetaan osahankkeissa, joissa jokainen koulu suorittaa omia projektejaan paikallisten yhteistyöyritysten kanssa. Yritykset hyötyvät kehittyneestä yhteistyöstä koulujen kanssa innovaatiotoiminnassaan ja kansainvälistymiskehityksessä. (1)

Kymenlaakson ammattikorkeakoulussa ROCKET-hankkeen kansainvälistymisosa-alueen kohdemaana on Venäjä ja erityisesti Pietarin seutu(2).

Yhtenä hankkeen toimenpiteistä on yritysten tuotekehitystä nopeuttavat rapid prototyping -toimintamallit. Tämän työ kartoittaa näiden toimintamallien perustaa ja mahdollisuuksia.

### 1.2 Työn tavoite

Kymenlaakson ammattikorkeakoulu on mukana käynnissä olevassa Rocket-kehityshankkeessa, jonka yhtenä toimenpiteenä on nopeamman ja tehokkaamman tuotekehityksen mahdollistavat rapid prototyping -teknologiat. Rapid prototypingin keskeisenä ideana on fyysisten mallien, prototyyppien, valmistus suoraan tietokoneella tehtyjen 3D-mallien pohjalta. Tuotekehityksen tehostamiseen ja rapid prototypingiin

liittyy vahvasti myös olemassa olevien kappaleiden digitointi ja käänteinen suunnittelu, joiden tekemiseen tarvitaan 3D-skanneria.

Tämän työn tavoitteena on tehdä perusselvitys rapid prototypingin ja 3D-skannauksen tekniikoista ja niiden käytöstä tuotekehitysprojekteissa. Lisäksi työssä tarkastellaan rapid prototyping -toiminnan kehittämistä Kymenlaakson ammattikorkeakoulussa mahdolliseen laitehankintaan liittyen.

## 2 HISTORIA

Ensimmäiset pikavalmistuslaitteistot tulivat käyttöön 1980-luvun lopussa, mutta alun perin idea tietokoneen suunnitteluohjelman ja ohjelmoitavien työstökoneiden yhdistämisestä syntyi 1960-luvulla, jolloin tekniikan professori Herbert Völcker kiinnostui aiheesta. (3)

70-luvulla Völcker kehitti matemaattisia algoritmeja ja teorioita kiinteään mallintamiseen. Nämä teorialat ovat osin vieläkin perustana moderneille suunnitteluohjelmille, joita käytetään lähes kaikkeen mekaaniseen suunnitteluun, leluista rakennuksiin. (3)

1980-luvulla yhdysvaltalainen Carl Deckard sai idean kerrosperustaisesta tekniikasta, jossa malli syntyy kerros kerrokselta. Ensimmäiset 3D-mallit Deckard tulosti SLS-tekniikalla, jossa laserin avulla sulatetaan metallijauhetta kerros kerrallaan. Kokeillun tekniikan tulokset olivat erittäin lupaavia, ja ala alkoi kehittyä nopeasti. (3)

Pikamallinnuksen teollistumisen ja yleistymisen kannalta tärkeä henkilö on Charles Hull, joka kehitti stereolitografia (SLA) -menetelmän. Ensimmäinen kaupallinen yhtiö, joka alkoi valmistaa, stereolitografiaan perustuvia pikavalmistuskoneita oli amerikkalainen 3D Systems Inc. (3)

Ensimmäiset pikavalmistuskoneet sijaitsivat teollisuusympäristöissä, mikä johtui laitteiden koosta ja niiden toiminnan aiheuttamasta metelistä sekä mahdollisista myrkyllisistä kaasuista ja materiaaleista. (3)



### 3 RAPID MANUFACTURING – PIKAVALMISTUS

Rapid manufacturing (RM) eli pikavalmistus tarkoittaa terminä käsin kosketeltavan kolmiulotteisen kappaleen valmistamista numeerisen määrittelyn (3D-CAD) pohjalta. (4,10)

*”Pikavalmistus tarkoittaa fyysisen kappaleen valmistusta suoraan numeerisen määrittelyn (3D-CAD) pohjalta nopeasti, täysin automaattisesti, geometrisilta rajoituksiltaan vapaassa projektissa”*(4, 10)

Perinteiset kappaleen valmistustekniikat ovat materiaalia poistavat menetelmät, kuten sorvaus, ja materiaalia muovaavat menetelmät, esimerkiksi valaminen. Pikavalmistuksen erona näihin menetelmiin on se, että kappaleen valmistus tapahtuu materiaalia lisäämällä. Tästä johtuen pikavalmistuksesta käytetään myös termiä ”materiaalia lisäävä valmistus” (engl. additive fabrication, AF.). (4, 10)

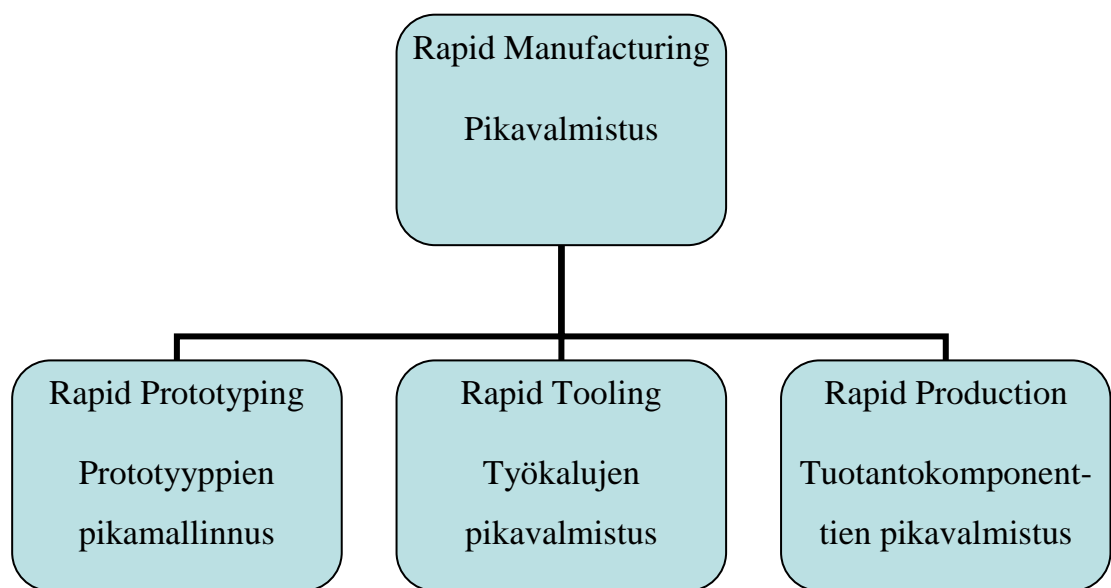
Kun valmistetaan tarkoituksenmukainen kappale suoraan materiaalia lisäämällä, poistuvat geometriset rajoitukset lähes kokonaan. Koska menetelmä on vapaa geometrisista rajoituksista, pystytään tuottamaan kappaleita, jotka olisivat hyvin vaikeita tai mahdottomia valmistaa perinteisillä työstömenetelmillä. (4, 10)

Pikavalmistuslaitteistojen erot muodostuvat niiden valmistusmenetelmistä, käyttökohteista, valmistettavien kappaleiden materiaalista, koosta ja mittatarkkuuksista. Käyttötarkoituksen perusteella laitteistot jakautuvat kolmeen pääryhmään: 3D-toimistotulostimiin, pikavalmistuslaitteisiin ja työvälineitä valmistaviin laitteisiin. (4, 11)

Yleisimmin pikavalmistuksen perustana on kerroksittainen valmistus, jolloin tietokonepohjainen suunnittelumalli viipaloidaan erittäin ohuiksi 2-ulotteisiksi kerroksiksi, jotka mallikone yksitellen valmistaa aina edellisen kerroksen päälle. Käytännössä kaikki pikavalmistuslaitteet tukevat STL-tiedostomuotoa, jolla 3D-pikavalmistettava kappale voidaan mallintaa tietokonepohjaisen 3D-suunnitelman (3D-CAD), CT:n (tie-

tokonekerroskuvaus), MRI:n (magneettikuvaus) tai 3D-skannauslaitteen datan pohjalta. Yleisimmin käytettävä mallinnusmuoto on 3D-CAD. (4, 11)

Pikavalmistuksen teollistumisen alkuvaiheessa, 1990-luvun alussa, koneita käytettiin lähinnä prototyyppien ja mallien valmistukseen. Viimeisen vuosikymmenen aikana pikavalmistus on laajentunut useille eri sektoreille, tuotekehityksen alkuvaiheeseen liittyvien mallikappaleiden valmistamisesta aina lopputuotannollisiin kappaleisiin asti. (4, 11)



Kuva 1. Pikavalmistuksen "organisaatiokaavio" (5, 2)

### 3.1 Prototyyppien pikamallinnus

3D-CAD-mallista rakennettavat kappaleet tuotekehityksen tarpeisiin. Prototyypeillä voidaan aikaisessa vaiheessa mm. havainnollistaa monimutkaisia kappaleita, arvioida tuotteen ulkomuotoa, mallia ja käytettävyyttä. Prototyyppien pikavalmistus on vanhimpia sovelluksia pikavalmistukselle, mikä johtuu prototyyppien vaatimattomista ominaisuusvaatimuksista. (4, 47)

### 3.2 Työkalujen pikavalmistus

Työkalu, työkalun osa tai niiden valumuotti valmistetaan pikavalmistustekniikalla. (4, 47)

### 3.3 Tuotantokomponenttien pikavalmistus

Valmistetaan lopputuotteeseen asennettava osa tai kokonaisuus käyttämällä pikavalmistusta. Pääasiallisesti käytössä pienissä tuotantosarjoissa. (4, 47)

## 4 RAPID PROTOTYPING-TEKNIIKAT

Seuraavassa keskitytään yleisimmin käytössä oleviin tekniikoihin. Näiden lisäksi on olemassa kymmeniä sovelluksia, jotka kuitenkin oleellisesti perustuvat alla oleviin.

Menetelmät perustuvat pääpiirteittäin kolmeen eri toimintatapaan:

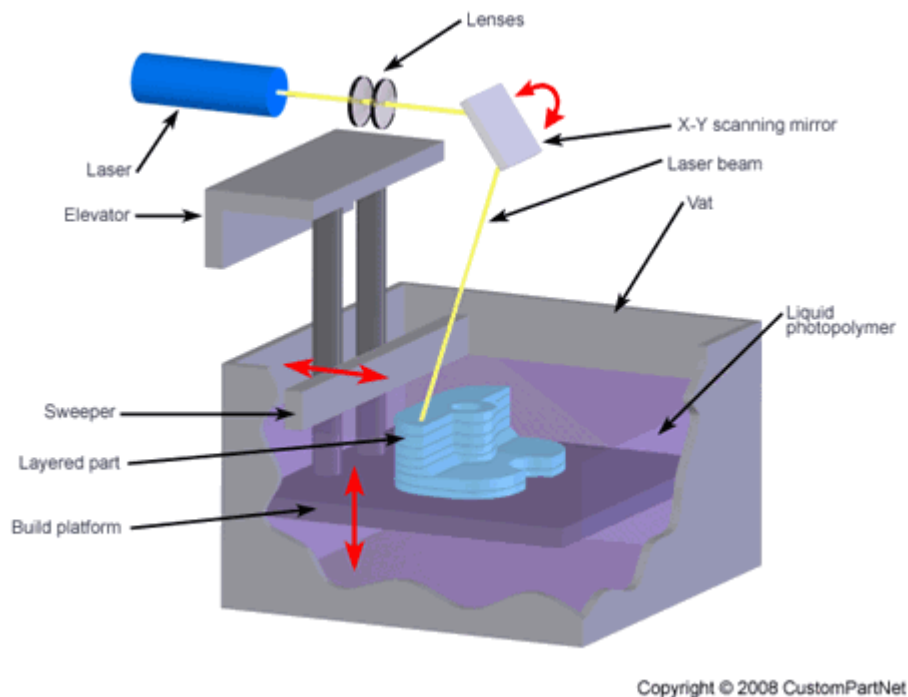
- nesteen kovettamiseen laserilla tai UV-valolla
- jauhemaisen raaka-aineen sitomiseen, sintraamiseen
- sulan materiaalin tulostamiseen.

### 4.1 Stereolitografia (SLA)

Menetelmä perustuu valokovetteiseen polymeeriin, joka kovetetaan kerroksittain lasersäteellä. Polymeeri on hyytelömäisenä altaassa, jossa sijaitsee myös pystysuunnassa liikkuva työtaso, jolle kappale rakentuu. Ensimmäisen kerroksen kohdalla työtaso nousee hiukan pinnan yläpuolelle, jolloin tasolle jää ohut kerros polymeeriä. Kerros kovetetaan laitteen laserilla. Seuraavien kerroksien kohdalla työtaso upotetaan polymeeriin, minkä jälkeen se nousee altaan pinnan yläpuolelle ja laitteen pyyhin tasoittaa pinnan jättäen siihen oikean kerrosvahvuuden verran polymeeriä, jonka laser jälleen kovettaa. (6)

Kun kappale on saatu muotoonsa, se otetaan altaasta, pestään ja jälkikovetetaan vielä UV-valolla, jolloin saavutetaan lopullinen polymerisoituminen. Kovetuksen jälkeen poistetaan kappaleesta mahdolliset tukirakenteet ja viimeistellään pinta tarvittaessa. Valmiissa kappaleessa pinta on tahmea, joten useimmiten kappale viimeistellään hi-oen, jolloin pinnanlaatu ja tarkkuus kärsivät.

Stereolitografia on ensimmäisenä käyttöön tullut pikamallinnusmenetelmä ja edelleen myös yleisimmin käytössä oleva. (6)



Kuva 2. SLA:n periaate (7)

Edut

- pystytään valmistamaan pieniä yksityiskohtia
- hyvä mittatarkkuus ja pinnanlaatu
- käytetyin RP-tekniikka-> prosessi luotettava

## Haitat

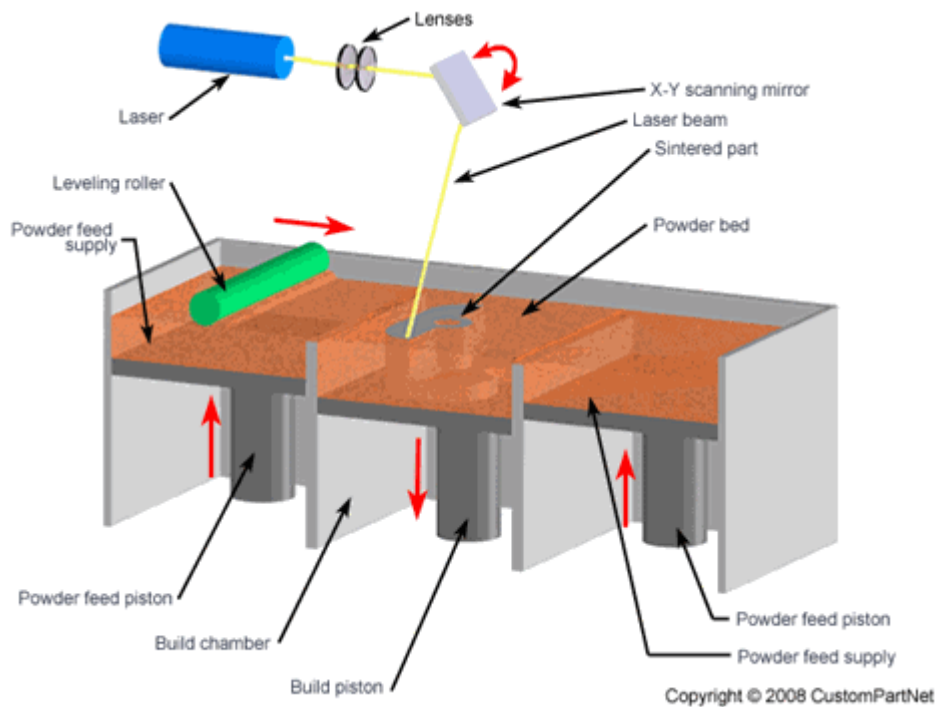
- kappaleet valmistuvat nesteessä, joten tukirakenteita tarvitaan ulokkeissa ja riippuvissa osissa
- materiaalirajoitukset
- työturvallisuusvaatimukset ja materiaalin käsittely
- käyttö vaatii kokeneen operaattorin
- korkeat kustannukset
- kappaleen geometriset muodot muuttuvat ajan kuluessa. (4, 15)

## 4.2 Selective Laser Sintering, valikoiva lasersintraus (SLS)

Lasersintrauksessa raaka-aine on hienoa metalli- tai muovijauhetta, joka sintrataan tai sulatetaan laserilla. Materiaali on mallinnuskoneessa omassa altaassaan ja varsinainen työtaso on jauhealtaan vieressä. Kone siirtää jauhealtaasta työtasolle ohuen kerroksen, kerrosvahvuuden verran, jauhetta, johon laser sintraa kappaleen muodon. Työtaso liikkuu alaspäin ja kappale ”syntyy” kerros kerrokselta koneen lisätessä jauhetta aina edellisen kerroksen päälle. Työtasolle muodostuu lopulta valmis kappale irtonaisen jauheen sekaan. Joissain SLS-laitteissa materiaali esilämmitetään, jolloin laserin käyttämä energiamäärä laskee ja kappaleen kerrosten väliset lämpötilaerot laskevat. (4, 25)

Kappaleen saatua muotonsa työtaso nostetaan ylös irtonaisen materiaalin seasta, jolloin kappale voidaan nostaa koneesta pois jäähtymään. Lopuksi kappale puhdistetaan sintrautumattomasta materiaalista. (4, 25)

Valikoivalla lasersintrauksella on myös mahdollista toteuttaa piensarjatuotantoa sekä tehdä muotoja, jotka eivät onnistu ruiskupuristamalla. (4, 26)



Kuva 3. SLS:n periaate (8)

#### Edut

- tukirakenteita ei tarvita, jolloin pystytään valmistamaan toimivia kokoonpanoja
- useita materiaalivaihtoehtoja
  - mahdollisuus modifioida materiaaliominaisuudet vastaamaan tuotantokappaleiden raaka-ainetta tai käyttötarkoitusta
- menetelmä on suhteellisen nopea

#### Haitat

- pinnanlaatu varauksin
- käyttö vaatii asiantuntemusta

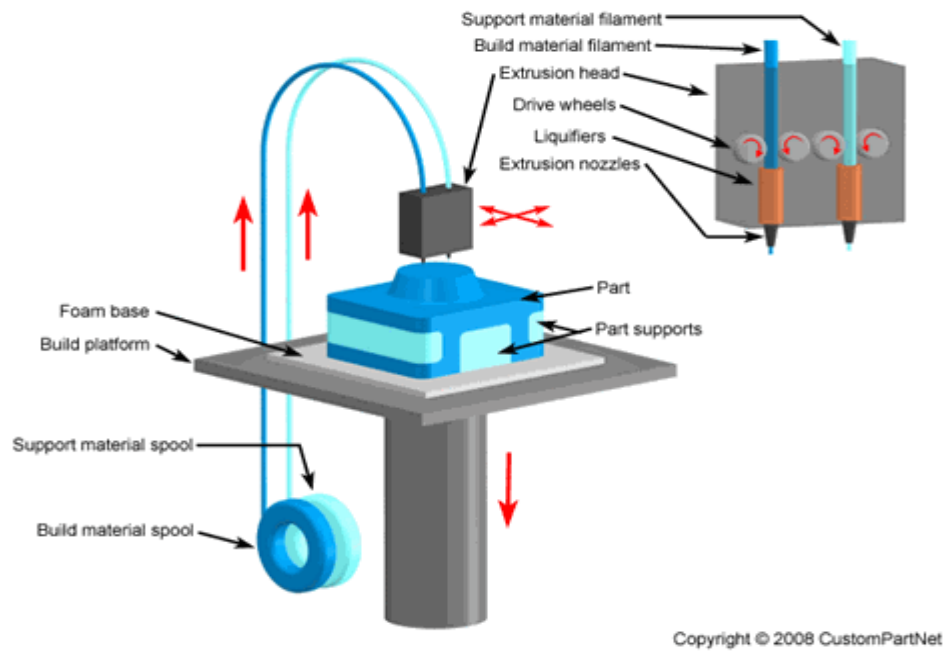
- ei täysin voida välttää kutistumia
  - vaikuttaa kappaleen tarkkuuteen
- koneiden kustannukset
- laserista johtuvat toimintaympäristölle asetetut vaatimukset (4, 27)

#### 4.3 Fused Deposition Modeling (FDM)

FDM menetelmä perustuu termoplastisen raaka-aineen, kuten muovin (prototyypit, mallit) tai vahan (valutyöt) pursottamiseen ohuena nauhana kerroksittain työtasolle. Materiaali on koneessa kelalla olevana nauhana tai pelletteinä, josta se syötetään kuumennettuun suuttimeen, joka pursottaa sulan ohuena nauhana työtasolle, kerroksittain. Muovi kovettuu pintaan välittömästi. Koneen rakennuskammion sisälämpötila ohjaa materiaalin jähmettymistä. (4, 18)

Kappale valmistetaan vaahtomuovityyppisen rakennusalustan päälle. Jokaisen kerroksen jälkeen rakennusalusta liikkuu kerrospaksuuden verran alaspäin. Kun kerrokset ovat valmiina, kappaleen annetaan jäähtyä, minkä jälkeen poistetaan tukirakenteet ja pinta viimeistellään. (4, 18)

Menetelmä ei ole kaikista nopein isompia kappaleita valmistettaessa, eikä sillä pysty tekemään ohuimpia muotoja. Menetelmällä kuitenkin pystytään tekemään kohtalaisen lujia kappaleita, jotka ovat käytettävissä sellaisinaan tai viimeisteltyinä. (4, 18)



Kuva 4. FDM:n toimintaperiaate (9)

#### Edut

- materiaalit helposti käsiteltäviä ja useita materiaalivaihtoehtoja
- kone on yksinkertainen laser-perusteisiin laitteistoihin verrattuna
- kone soveltuu toimistokäyttöön

kerrospaksuus helposti säädettävissä

#### Haitat

- pinnanlaatu heikko, erityisesti laajoilla vaakasuorilla pinnoilla
- kerrosten välillä delaminoitumisen riski



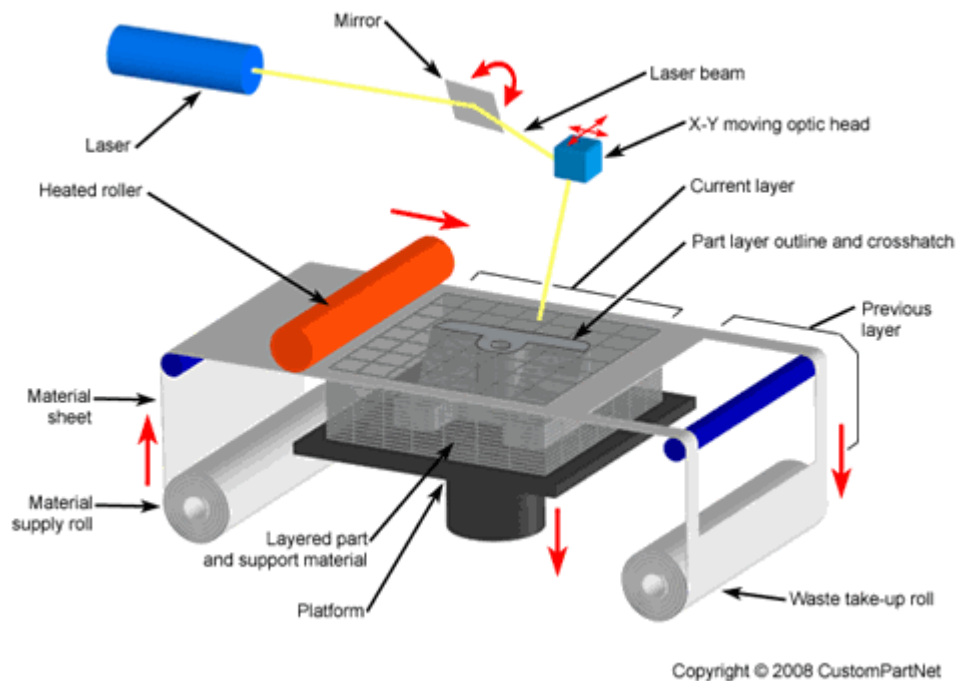
- mitta- ja muototarkkuus heikko pienissä yksityiskohdissa (4, 18)

KyAMK:n muotoilun yksikössä Kouvolassa on Stratasys Prodigy Plus -pikamallinnuslaite, joka toimii FDM-periaatteella. Laite valmistaa kappaleet ABS-langasta ja maksimikoko valmistettavalle kappaleelle on 203 x 203 x 305 mm; tämän kokoista kappaletta laite työstää noin viikon. Laitteen hinta uutena oli noin 65 000 €. (10)

#### 4.4 3D-laminointi (LOM)

Menetelmä perustuu raaka-aineen laminointiin, ja sen jälkeen laser muotoilee halutun kappaleen. Käytettävän materiaalin tulee olla thermoplastista, kuten PVC-muovia, paperia tai komposiittia. Raaka-aine on rullassa, josta se kelautuu työtason päälle. Tämän jälkeen kuumatela laminoi materiaalin, joka leikataan laserilla muotoonsa. Prosessi etenee kerroksittain. Valmis malli on tukiaineen, ylijääneen materiaalin, ympäröimä. Tukiaineesta irrottamisen jälkeen mallia voidaan vahvistaa hartsilla, mikäli materiaalina on ollut paperi. Lopuksi kappale viimeistellään hionnalla. (4, 24)

Menetelmä soveltuu parhaiten suurille kappaleille kuten valumalleille. Pienten yksityiskohtien tekeminen ei LOM-menetelmällä onnistu. (4, 24)



Kuva 5. LOM periaate (11)

#### Edut

- laaja materiaalivalikoima
- edulliset kustannukset
- valmistusprosessin nopeus
- soveltuu suurien kappaleiden valmistukseen

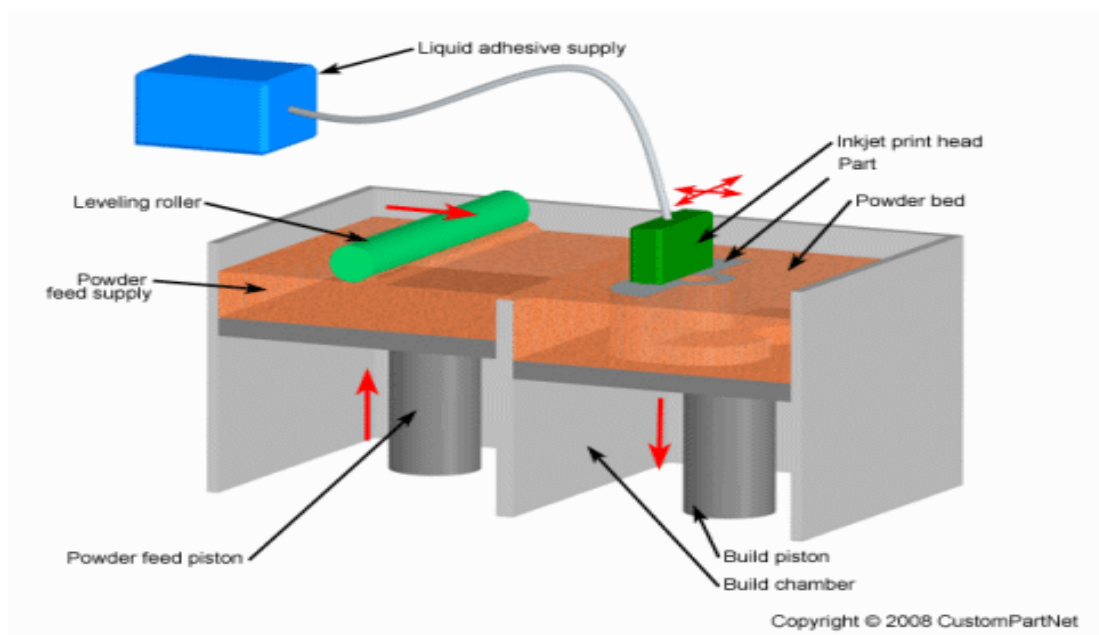
#### Haitat

- onttoja kappaleita ei voida valmistaa
- z-suuntaisten seinämien paksuus rajoittunut
- materiaalihukka (4, 24)

#### 4.5 3D-tulostus (3D-printing/plotting)

3D-tulostimet ovat toimistoympäristöön suunniteltuja pikavalmistuskoneita, jotka mahdollistavat toimintamallin, jossa suunnittelija luo tietokoneella suunnitelman ja pystyy sen perusteella itse tulostamaan kolmiulotteisen kappaleen. Edellä olleisiin tekniikoihin verrattuna 3D-tulostimien hankintakustannukset ovat alhaiset. (12, 26)

Toimintaperiaatteita 3D-tulostimilla on useita, valmistajasta riippuen. Pääasiassa laitteistot perustuvat joko plastisen materiaalin suihkuttamiseen mustesuihkutulostimen tavoin (BPM) tai sideaineen ruiskuttamiseen pulverimaiseen materiaaliin. (12, 26)



Kuva 5. 3D-tulostuksen periaate (13)

Edut

- soveltuu käytettäväksi toimistoympäristössä
- edulliset kustannukset

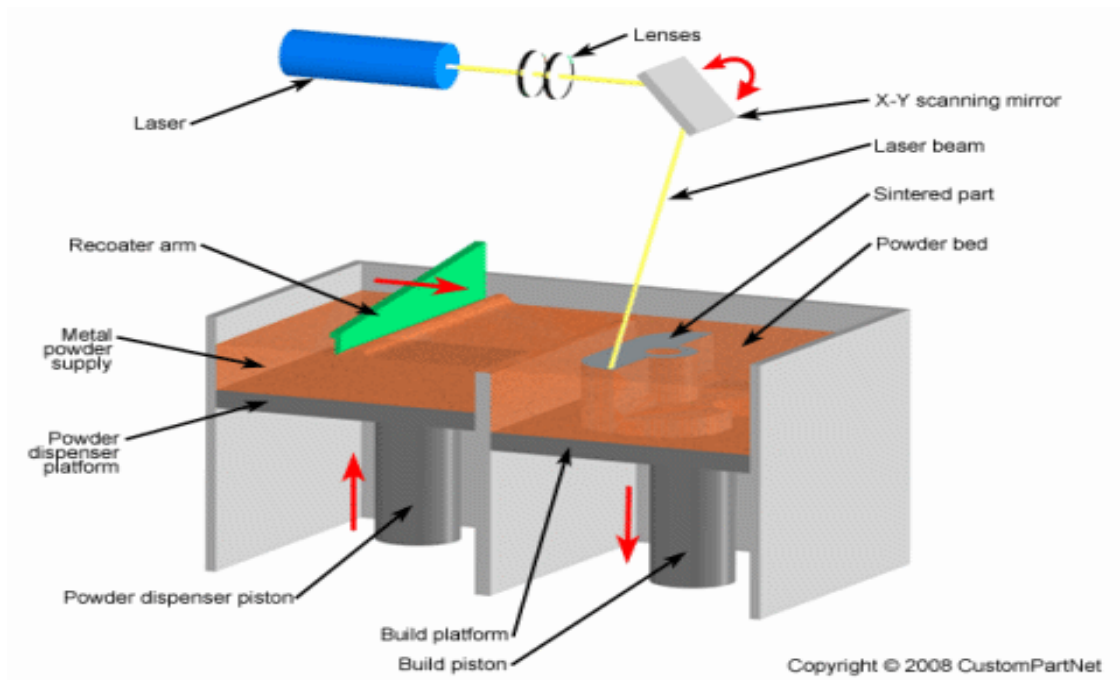
### Haitat

- kappaleiden koot melko pieniä
- heikko pinnanlaatu (12, 26)

Hämeen ammattikorkeakoulun Hämeenlinnan yksikössä on käytössä 3D-väritulostin ZPrinter 450. Valmistusmateriaalina on kipsijauhe, jonka laite kovettaa muotoonsa si-deaineella. Maksimikoko valmistettavalle kappaleelle on 250 x 250 x 200 mm. Tulostimen hinta vuonna 2008 oli noin 42 000 euroa. (14)

## 4.6 DMLS – Direct Metal Laser Sintering

Menetelmä on toimintaperiaatteeltaan samankaltainen kuin SLS, mutta DMLS:ssä käytettävä materiaali on metallijauhetta, jonka kutistuminen sintrauksen aikana on erittäin vähäistä. Tällä menetelmällä saadaan valmistettavalle kappaleelle noin 98 %:n tiheys, joten myös lopputuotteiden valmistaminen on mahdollista. (12, 124)



Kuva 6. DMLS:n periaate

#### Edut

- nopea valmistusprosessi
- pystytään valmistamaan tarkasti pieniä yksityiskohtia
- valmis kappale vastaa perinteisillä menetelmillä valmistettua kappaletta

#### Haitat

- laitteen kalliit hankintakustannukset (12, 125)

## 5 MATERIAALIT

Tärkeä osa pikavalmistusta varsinaisten laitteistojen lisäksi on materiaali, josta kappale valmistetaan. Materiaali vaikuttaa, laitteen ominaisuuksien rinnalla pinnanlaatuun ja muihin kappaleen ominaisuuksiin, mahdolliseen jälkikäsittelyyn ja käyttökustannuksiin.

Pikavalmistuksen materiaalikirjo on laajentunut viime vuosien aikana huomattavasti. Tällä hetkellä materiaalien kehityksessä on keskitytty ominaisuuksiin, joilla pikavalmiste saadaan vastamaan tuotantokappaleiden ominaisuuksia. Edullisimpien menetelmienkin materiaalit, kuten polymeerit, ovat myös kehittyneet monipuolisemmiksi.

Materiaalit voidaan jakaa sen mukaan, missä valmistusmenetelmässä niitä käytetään: sintrattavat, valokovettuvat, suihkutettavat (tulostimet), laminoitavat ja pursotettavat materiaalit (FDM). Varsinaisten materiaalin lisäksi on olemassa sideaineita ja jälkikäsittelyyn liittyviä kovetteita, tekniikasta riippuen.

## 6 PIKAVALMISTUKSEN KÄYTTÖ TUOTEKEHITYKSESSÄ

Seuraava osio käy läpi pikavalmistuksen tuotekehitys sovelluksia sekä niiden käyttöä yrityksissä ja kouluissa.

### 6.1 Pikavalmistuksen sovellukset tuotekehityksessä

#### 6.1.1 Geometrian tarkastus ja visuaaliset tarkastelut

Yksinkertaisimpia sovelluksia pikavalmistukselle ovat tuotteen esteettisyyden arviointi ja monimutkaisten kappaleiden havainnollistaminen, jotka ei eivät edellytä prototyypimallilta muuta kuin kohtuullista koossapysymistä. Tällaisessa käytössä suurin rajoittava tekijä on RP-mallien suhteellisen pieni koko, mikä voi suurien mallien kohdalla olla epätaloudellista. Ongelmaa on pyritty ratkaisemaan kokoamalla tuote tai komponentti useammasta RP-kappaleesta. (4, 46)

3D-mallinnuksen yleistymisen myötä tuotteiden monimutkaisuus on lisääntynyt, jolloin monimutkaisten komponenttien kaikkien piirteiden hahmottaminen voi olla vaikeaa. Näissä tapauksissa pikavalmistusta käytetään havainnollistamiseen. (4, 46)

### 6.1.2 Toiminnallinen ja ergonomian testaus

Materiaalien kehittymisen myötä pikavalmistettuja kappaleita on alettu hyödyntää lujuutta ja mittatarkkuutta vaativissa testauksissa, kuten tuulitunnelikokeissa ja ergonomian toiminnallisuuden testauksessa. (4, 48)

### 6.1.3 Huollettavuuden suunnittelu ja layout-suunnittelu

Toiminnallisten ratkaisujen ja teollisen muotoilun asettamien vaatimusten yhteen sovittaminen osien ja kokoonpanojen sijoittelussa voi olla vaativa suunnittelutehtävä. Tällaisissa tapauksissa joudutaan ottamaan samanaikaisesti huomioon useita rajoituksia ja toiminnallisia vaatimuksia, joiden yhteen sovittaminen on vaikeaa ainoastaan virtuaalisesti. Näissä tilanteissa voidaan hyödyntää pikavalmisteista mallia. (4, 47)

### 6.1.4 Prototyypin rakentaminen

Keskeinen ongelma pikavalmisteiden testauskäytössä on niiden valmistusmenetelmien ja materiaalien erot varsinaisiin tuotantokappaleisiin verrattuna. Kappaleiden kerroksittaisesta valmistusmenetelmästä johtuen materiaaliominaisuudet vaihtelevat kappaleen vaaka- ja pystytasojen suhteen. Tämä ongelma voidaan ohittaa käyttämällä pikamallia silikonin- tai polyuretaanimuotin perustana. (4, 47)

Materiaalien jatkuvan kehityksen myötä pikamallien ominaisuudet kuitenkin lähestyvät tuotantomateriaalien vastaavia. (4, 47)

### 6.1.5 Työvälinevalmistus

Pikavalmisteiden yleisin työvälinesovellus on silikonimuottien valmistus RP-kappaleiden pohjalta. Parhaiten tähän soveltuu SLA-menetelmä. (4, 46)

Metallikappaleiden valmistuksessa yleisin menetelmä on valmistaa silikonimuotissa tarkkuusvaluvahoja tai valmistaa valukeernoja suoraan siihen kykenevällä pikavalmistusmenetelmällä. DMLS-menetelmällä on myös mahdollista valmistaa prototyyppi- ja

piensarjaruiskuvalumuotteja. Tässä tapauksessa osa muotista valmistetaan perinteisellä koneistus- ja kipinätyöstömenetelmällä ja osa pikavalmistamalla. (4, 46)

#### 6.1.6 Pakkaussuunnittelu

Uuden tuotteen markkinoille saattamisen nopeudesta johtuen tuotepakkauksen suunnittelu joudutaan usein aloittamaan vaiheessa, jossa ei ole saatavilla varsinaisia tuotantokappaleita. Pakkauksen suunnittelussa kuitenkin tarvitaan mahdollisimman tarkka mekaaninen malli, joka voidaan aikaisessa vaiheessa tehdä pikavalmisteisena tai pikamallin kautta saadusta silikonimuotista. (4, 46)

#### 6.1.7 Tuotteen esittely

Tuotetta tai sen erilaisia toteutusvaihtoehtoja esitellään tuotekehityksen yhteydessä yrityksessä niin sisäisesti kuin mahdollisille sidosryhmillekin. Pikavalmistus on nopea ja suhteellisen edullinen tapa erilaisten konseptimallien ja prototyyppien tuottamiseen, jolloin saadaan esiteltävästä tuotteesta selkeästi hahmotettava fyysinen kappale. (4, 47)

#### 6.1.8 Markkinointi

Tuotteen markkinointi ja myyntitoimenpiteet voidaan aloittaa aikaisessa vaiheessa, ennen tuotannon käynnistämistä tai tuotteiden valmistamista, käyttäen pikavalmistamalla tehtyjä prototyyppejä. (4, 47)

### 6.2 Yritysten RP:n käyttö

Suomessa on harvoja yrityksiä, joiden koko liiketoiminta perustuu RP –toimintaan, yleisempää on RP: n käyttö yrityksessä yhtenä osana suunnittelua tai tuotantoa. Pikamallinnus palveluita tarjoavat yrityksetkin toimivat usein muilla suunnittelun tai tuotekehityksen osa-alueilla.

Ulkomailla, etenkin Yhdysvalloissa, pikamallinnus ja –valmistus on kehittynyt pidemmälle ja siellä on yrityksiä, joiden koko liiketoimintamalli pohjautuu näihin mene-



telmiin. Euroopan johtava pikamallien palveluntuottaja on saksalainen Alphaform, jolla on toimintaa myös Suomessa (15).

### 6.3 Koulujen RP:n käyttö

Monissa ammattikorkeakouluissa on pikamallinnuslaite, jonka olemassaoloa ei tosin voi perustella taloudellisella kannattavuudella (10 ja 14), mutta laitteet silti mahdollistavat tuotekehityksen ja –testauksen kehittämisen ja monipuolistumisen. Pikavalmistusta Suomessa on vähemmän kuin pikamallinnusta, mutta muun muassa Firpan puheenjohtaja Jukka Tuomi, Aalto-yliopistosta, on mukana kehittämässä pikavalmistuksen käyttöä lääketieteellisissä sovelluksissa.

#### 6.3.1 RP:n käyttö KyAMK:n Kouvolan toimipisteessä

KyAMK:n muotoilun yksikössä Kouvolassa toimii RP-tulostuspalvelu, jonka perustana on FDM-tekniikalla toimiva Stratasys Prodigy Plus -pikamallinnuskone. Laitteen käyttö muodostuu kolmesta pääryhmästä: asiakkaista, jotka tilaavat koululta tarvitsemansa tulostuspalvelun, opetuskäytöstä sekä suuremmista tuotekehitysprojekteista, jolloin koneella tehdään hahmomalleja suunnitteilla olevasta tuotteesta.

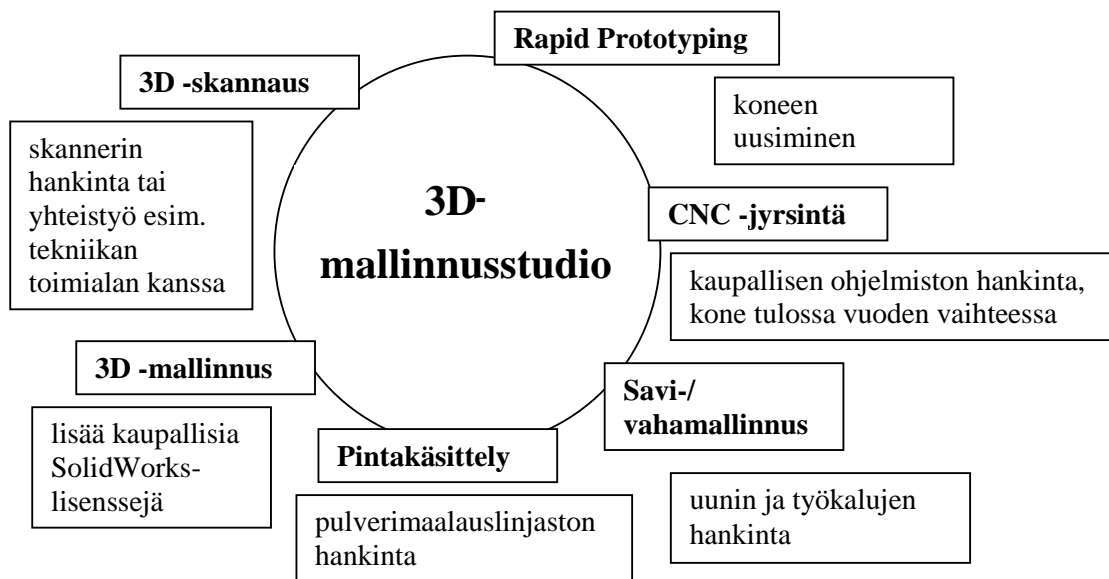
Koneella on tehty asiakkaille muun muassa kaukosäätimiä, ilmanvaihtoventtiilejä, pienoismallien osia ja muotteja sekä keernoja erilaisia valuja varten. Koneella on järkevintä tehdä pieniä kappaleita, jolloin ajan ja materiaalin käyttö on kohtuullista suhteutettuna saavutettavaan hyötyyn. Enimmäkseen laite on melko vähäisellä käytöllä, 20-30 tulostusta vuodessa, joten laitteella riittäisi kapasiteettia myös Kotkassa sijaitsevan tekniikan ja venealan tarpeisiin.

Laitteella valmistettavan kappaleen kustannukset muodostuvat siihen kuluvaan materiaalin hinnasta, koneen kuoletuksesta ja käytettävästä energiasta. Asiakkaille valmistettavan mallin hinnoitteluperiaatteena käytetään materiaalin kulutusta. Materiaalin yksikköhinta on 1,00 € / 1 cm<sup>3</sup> + alv. 23 %. Materiaalin kulutukseksi lasketaan ABS-muovilanka sekä tarvittava tukiaine. Opiskelijahinta materiaaleille on 0,5 € / 1 cm<sup>3</sup> sis. alv. 23 %, ja tällä hinnalla tulostuksen kate on lähes nolla. Samaa hintaa voidaan soveltaa eri toimialojen välillä.

Muotoilun RP- tulostuspalvelun liikevaihtoa on vaikea määrittää tulojen ja menojen jakautuessa monelle momentille, mutta Haapasen (10) mielestä toiminta ei ole erityisen kannattavaa.

#### Tulevaisuus

Muotoilun toimiala hakee parhaillaan rahoitusta "3D-mallinnuslaboratoriota" varten, jonka palvelutoiminta keskittyisi alla olevaan konseptiin.



Kuva 7. 3D-mallinnusstudion konseptikuva (10)

Mahdollisen 3D-mallistudion toiminnot tulisivat pääosin keskittymään Kouvolan yksikköön, mutta 3D-skannerin hankinta Kotkaan palvelisi myös Kouvolassa tapahtuvaa toimintaa. Tässä tapauksessa tekniikan ala ja veneala voisivat käyttää skanneria omiin projekteihinsa. (10)

## 7 3D-SKANNAUS

3D-skannauksella tarkoitetaan olemassa olevan kappaleen digitointia, jolloin kappaleesta saadaan digitaalinen, mittatarkka 3D-malli, jota voidaan muokata ja kehittää CAD-ohjelmalla ja josta lopulta voidaan tuottaa esimerkiksi pikavalmisteinen kappale.

Skannaus tapahtuu skannerilla, joka mittaa kappaleen pinnalta tuhansia pisteitä, joista jokainen määrittyy x-, y- ja z-akselilla. Näiden pisteiden pohjalta muodostuu kappale.

leesta digitaalinen malli. Malli voidaan esittää pistepilvenä (point-cloud), CAD-pintamallina tai pintaverkkomallina, kuten STL-tiedostona. Skannauksen toimintaperiaatteet jakautuvat kahteen pääluokkaan, koskettavat ja ei-koskettavat menetelmät.

## 7.1 Ei-koskettavat menetelmät

Ei-koskettavat menetelmät skannaavat kappaleen pinnanmuodot, jolloin mittatiedot saadaan kappaleen ulkokuoresta. Menetelmä on yleisemmin käytössä oleva ja yleensä edullisempi kuin koskettavat menetelmät. Laitteet perustuvat aktiiviseen tai passiiviseen skannaukseen. Aktiivisen skannerin toiminta perustuu valon tai säteilyn lähettämiseen ja kohteesta syntyvän heijastuksen mittaamiseen. Passiivinen skanneri ei lähetä säteilyä, vaan havainnoi ympäristöstä, tässä tapauksessa kohteesta, syntyvää säteilyä, useimmiten valoa. Monet passiiviset menetelmät rakentuvat digikameran ympärille, jolloin järjestelmän hinta on suhteellisen edullinen. Kehittyneimmät ei-koskettavat menetelmät perustuvat tietokonetomografiaan (CT), jolloin kappaleesta skannataan kerroksittain läpileikkauskuvia. (12, 181)

Time of flight (TOF) -menetelmässä skanneri lähettää kohteeseen laser- tai valosignaalin ja mittaa, kauanko aikaa kuluu signaalin takaisinheijastumiseen kohteesta. Kohteesta mitataan tällä tavalla tuhansia pisteitä, jolloin kohteesta saadaan pintamalli. (12, 182)

Projektioskannauksessa kohteeseen heijastetaan valoa verkon läpi. Skanneri analysoi kohteen ja valonlähteen välisiä eroja verkkokuviossa, jolloin kohteesta muodostuu pintamalli. (12, 182)

Stereoskooppinen digitalisointi on menetelmä, jossa skanneri kuvaa usealla, vähintään kahdella, kameralla kohdetta eri kulmista, jolloin kappaleesta muodostuu digitaalinen 3D-kuva. (12, 182)

Silhuettiskannauksessa skanneri kuvaa kohteen silhuettia, kun sitä pyöritetään. Tämä menetelmä on poistumassa markkinoilta heikon tarkkuuden vuoksi. (12, 182)

Tietokonetomografia (CT, Computed Tomography) on röntgensäteisiin perustuva kuvausmenetelmä, jolla saadaan viipalemaisia läpileikkauskuvia kappaleesta. Kuvien pohjalta saadaan kappaleesta muodostettua kolmiulotteinen malli. Tietokonetomografia kehitettiin alun perin lääketieteellisiin tarkoituksiin, mutta tekniikasta on olemassa myös teollisia sovelluksia. (12, 182)

## 7.2 Koskettavat menetelmät

Koskettavilla menetelmillä digitointi tapahtuu koskettamalla digitoitavan kappaleen pintaa laitteen mittakärjellä. Mittakärki rekisteröi kosketuksen ja tallentaa sen hetkisen sijaintinsa koordinaatistossa, jolloin kappaleesta saadaan koordinaattipiste. Mittakärki on aina kiinni, joko käsivarsi- tai koordinaattimittauslaitteessa, jonka kautta se määrittää paikkansa koordinaatissa. Alla olevassa kuvassa on pöytämallinen koordinaattimittalaite. (12, 181)



*Kuva 8. Koordinaattimittalaite (16)*

## 8 SKANNERIKOKKOONPANO

Skanneri itsessään ainoastaan kerää lukuisia pisteitä skannauksen kohteesta, jolloin syntyy suuri määrä dataa. Tämän datan muuntamiseksi järkeväksi kokonaisuudeksi CAD/CAM-ohjelmistoon tarvitaan ohjelma, joka suodattaa mahdolliset virhepisteet ja muodostaa varsinaisen digitaalisen mallin skannerin tietojen pohjalta.

Ohjelmistoja on olemassa monenlaisia, moniin eri käyttötarkoituksiin, mutta hankintakustannuksissa ohjelmiston hinta on kuitenkin tuntuva.

Taulukko 1. Digima Oy:n hinnasto Artec TDSS skannerista, jonka toiminta perustuu stereoskooppiseen digitalisointiin.(17)

<b>Artec TDSS 3D-skanneri</b>	<b>Hinta</b>
Skanneri	17 000 €
Skanneri+Geomagic Studio, oppilaitoksille	21 000 €
Skanneri+Geomagic Studio, yrityksille	34 300 €

## 9 KÄYTTÖSOVELLUKSIA

Tuotekehitys

Tarvittavien prototyyppien määrä ja sitä kautta kustannukset laskevat, kun muokattu prototyyppi pystytään skannaamaan suoraan 3D-malliksi. (12, 183)

### Laaduntarkkailu

Skannauksen avulla saadaan valmiista kappaleesta tarkat mitat, joita voidaan verrata kappaleen CAD-malliin, jolloin saadaan selville mahdolliset geometriset virheet. (12, 183)

### Käänteinen suunnittelu

Saadaan 3D-malli kappaleesta, josta ei ole olemassa piirustuksia tai 3D-mallia. (12, 83)

### Restaurointi

Rikkoutuneen kappaleen skannaaminen ja korjauksen suunnitteleminen digitaalisesti. (12, 183)

### Tietokoneavusteinen tutkimus, CAI

Kehittyvä ja nopeasti kasvava sovellus digitalisoinnille, jossa CAD-suunnitelmaa verrataan valmiiseen kappaleeseen. Näin pystytään suorittamaan laaduntarkkailua ja kehittämään sekä tuotantoprosessia että tuotesuunnittelua. (12, 183)

## 10 CASE – HAMK RIIHIMÄKI

Hämeen ammattikorkeakoulussa Riihimäellä käytössä oleva koordinaattimittaus-/skannauslaite koostuu 7-akselisesta koordinaattimittalaitteesta koskettavalla mittapäällä ja siihen liitetystä Faron Laser line probe v2 -laserskanneriyksiköstä. Laite on täysin liikuteltavissa, joten se pystytään kuljettamaan kohdekappaleen luo melko vauhtomasti.

Varsinaisen mittalaite-skannerin lisäksi kokoonpanoon kuuluu kannettava tietokone, jota kuljetetaan skannerin mukana. Kannettava tietokone tallentaa skannerin tuottaman datan ja samalla sen näytöltä pystyy seuraamaan skannauksen etenemistä. Varsi-

naiseen kuvankäsittelyyn tarvitaan paljon laskentatehoa, jota varten on erillinen pöytäkone, johon data skannauksen jälkeen siirretään kannettavasta tietokoneesta. Kummassakin tietokoneessa on Geomagic Studio 11 sekä Geomagic Qualify 11, joista Studio on varsinainen skannausohjelmisto, jolla pystytään muokkaamaan kuvaa skannauksen jälkeen, Qualify on skannatun kappaleen mittatietojen käsittelyyn tarkoitettu ohjelmiston, jota käytetään lähinnä silloin, kun käytetään skannerin koskettavaa mittapäättä eli tarvitaan tarkkoja mittoja kohdekappaleesta.

Laitteisto on tilattu toimittajalta, Rensi Finland Oy:ltä, loppuvuodesta 2007 ja saatu käyttöön keväällä 2008. Hankintahinta varsinaiselle käsivarsimittalaitteelle oli 70 000 € ja laserskannerille 30 000 €. Näiden lisäksi kuluja syntyi kahdesta tietokoneesta yhteensä noin 6000€ ja tarvittavista ohjelmistoista, joihin on kaksi USB-lisenssiä, á 1500 € / vuosi. (18)

Laserskannerin mittatarkkuus on noin 0,005 mm ja mittakärjen noin 0,003-0,005 mm. Työskentelyalue, jonka koko määräytyy mittavarren mukaan, on 3,7 m.

## 10.1 Skannaus ja kuvankäsittely

Skanneri ja mittavarsi ovat erittäin herkkiä laitteita, joten käyttäjän tulee opetella laitteen käyttö ennen mallinnusta ja noudattaa varovaisuutta työskennellessään. Skannerin tai mittavarren osuessa esimerkiksi pöytään menettää laitteisto vähintäänkin mittatarkkuutensa ja käytännössä siitä tulee käyttökelvoton. Laitteiston hinnan ollessa kymmeniä tuhansia euroja on käyttäjän tiedettävä, mitä on tekemässä.

Laitteisto on liikuteltavissa, mutta HAMK:ssa se on vakiopaikassaan konelaboratoriossa, jolloin laitteella on nollapiste oletuksena. Nollapisteen avulla laite määrittää skannattavien pisteiden sijainnin koordinaatistossa Mikäli laitetta siirrellään eri paikkoihin, tulee nollapiste määrittää ennen skannausta. Laitteen kiinnitys tapahtuu mittavarren juuressa olevalla laipalla.

Skannerin työalue määräytyy mittavarren liikeradan mukaan, jonka ääritilat ovat 3,7 metriä. Ennen työhön ryhtymistä on hyvä kokeilla, ylettyykö skannaamaan kappaleen

joka puolelta, jolloin ei tule yllätyksiä kesken skannaamisen. Mittavarren nivelet, 7 kappaletta, tulee pyöräyttää 360 astetta, jolloin kone tunnistaa liikeradat. Mikäli laitteella ollaan skannaamassa kylmemmässä ilmassa, kuten ulkotiloissa, on nivelten annettava lämmetä käyttölämpötilaan. Lämmityksen hoitaa mittavarren oma ”lämmitin”, jonka lämmitysteho on noin yksi aste minuutissa. Mittavarren nivelten optimilämpötila on noin 31 C°, mutta normaali huoneenlämpökin riittää.

Skannattava kappale on hyvä kiinnittää alustaan, etenkin jos käytetään mittakärkeä, jolloin kappaletta tulee koskettaa. Laserilla skannattaessa ei kappaleeseen tarvitse fyysisesti koskea, mutta silloinkin kappale olisi hyvä kiinnittää, jotta se ei vahingossakaan pääse liikkumaan.

Varsinainen skannaus on melko yksinkertaista. Skanneria pyritään liikuttamaan tasaisen hitaalla liikkeellä kohtisuorassa kappaleeseen nähden pitäen samalla pohjassa skannerin ”liipaisinta”. Skannerilla on kappaleeseen tietty etäisyys, jolla se pystyy skannaamaan. Tämän etäisyyden näkee skannerin päällä olevista kahdesta merkkivalosta, joiden molempien ollessa vihreinä on etäisyys oikea. Skannauksen etenemistä pystyy seuraamaan reaaliaikaisesti vieressä olevan kannettavan tietokoneen näytöltä. Varsinkin kokemattoman käyttäjän on huomattavasti helpompi saada kappale skannattua onnistuneesti, kun näkee suoraan, miten kappale tallentuu tietokoneelle. Skannauksen ei tarvitse olla aivan täydellistä, koska myöhemmin tietokoneella tehtävässä kuvankäsittelyssä voidaan paikata esimerkiksi mahdollisia reikiä mallista ja poistaa virhepisteitä. Kuvankäsittely voi kuitenkin olla erittäin hidasta, riippuen kappaleen muodoista ja koosta, joten mitä huolellisemmin skannaa, sitä vähemmän joutuu käyttämään aikaa kappaleen muotovirheiden korjailuun.

Skannauksen valmistuttua suljetaan skanneri ja kiinnitetään mittavarsi takaisin säilytysasentoonsa. Tallennettu data eli pistepilvi on nyt kannettavan tietokoneen muistissa, josta se siirretään USB-muistitikun avulla pöytäkoneelle kuvankäsittelyä varten.



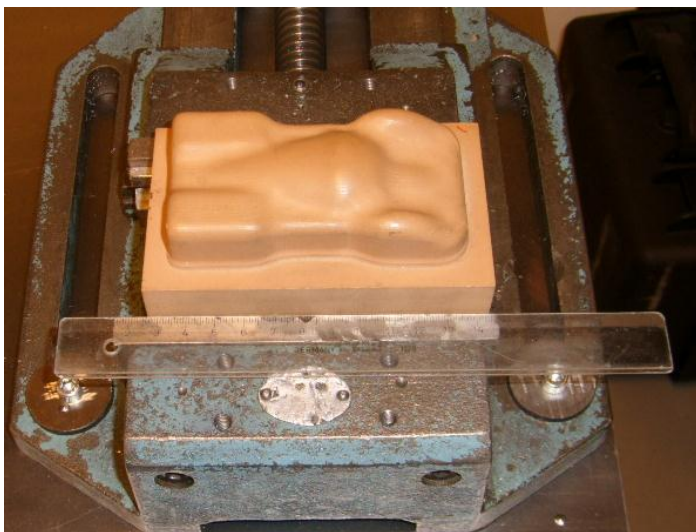
Ensimmäisessä vaiheessa, skannauksen jälkeen, data on pistepilvenä. Käyttäjä voi tarkastella pistepilveä raakaversiona, jolloin näkyvät pisteet ovat juuri ne, jotka skanneri on tallentanut, tai korjattuna mallina, jolloin tietokone on korjannut datasta virhepisteet ja lisännyt pisteitä aukkokohtiin. Pistepilven pisteiden määrä kannattaa optimoida tässä vaiheessa, jolloin kuvanmuokkaus nopeutuu seuraavissa vaiheissa.

Seuraavaksi pistepilvestä muodostetaan kolmioverkko- eli polygonimalli. Tämä tarkoittaa sitä, että ohjelmisto yhdistää pisteet toisiinsa luomalla kolmioita niiden välille. Kappaleelle vaadittava toleranssi määrittää kolmioiden määrän, jolloin tarkempi kappale vaatii enemmän kolmioita, ja sitä kautta tiedoston koko ja muokkaukseen kuluva aika kasvavat. Kolmioinnissa kappaleesta poistetaan mahdolliset reiät ja virheet, jolloin lopputuloksena on muun muassa 3D-tulostukseen kelpaava STL-malli. Kappaleesta ja käytössä olevasta tietokoneesta riippuen pistepilven muokkaamisessa valmiiksi kolmioverkkomalliksi kuluu aikaa 10 minuutista jopa muutamaan päivään.

Viimeisenä vaiheena on kolmioverkkomallin muokkaaminen pintamalliksi. Pintamalli muodostuu tietokoneen rakentaessa täysin umpinaiset pinnat kolmioverkon päälle, jolloin etenkin kappaleen terävät ja pyöristetyt kulmat muodostuvat huomattavasti paremmiksi kuin polygonimallissa. Pintamallinnus on eniten aikaa vievä osa-alue riippuen siitä, miten hyvä ja monipuolinen lopputulos halutaan saada.

## 10.2 Auton korimallin skannaus

Digitoitavana kohteena tässä tapauksessa toimi vahamateriaalista tehty autonkorimalli. Kappale sopi hyvin kohteeksi, sillä sen materiaali itsessään ei heijasta laserin valoa, jolloin virhepisteiden määrä pysyi pienenä. Kappale oli myös muotonsa ja kokonsa puolesta helppo skannattava.



*Kuva 9. Skannattava auton korimalli*



*Kuva 10. Skanneri ja mittavarsi*

Ennen skannauksen aloittamista liitettiin skanneri tietokoneeseen ja avattiin Geomagic Studio 11 –ohjelma, joka kerää skannatut pisteet reaaliajassa. Tämän jälkeen mittavarren nivelet pyöräytettiin akselinsa ympäri, jolloin niiden paikkatiedot päivittyivät.

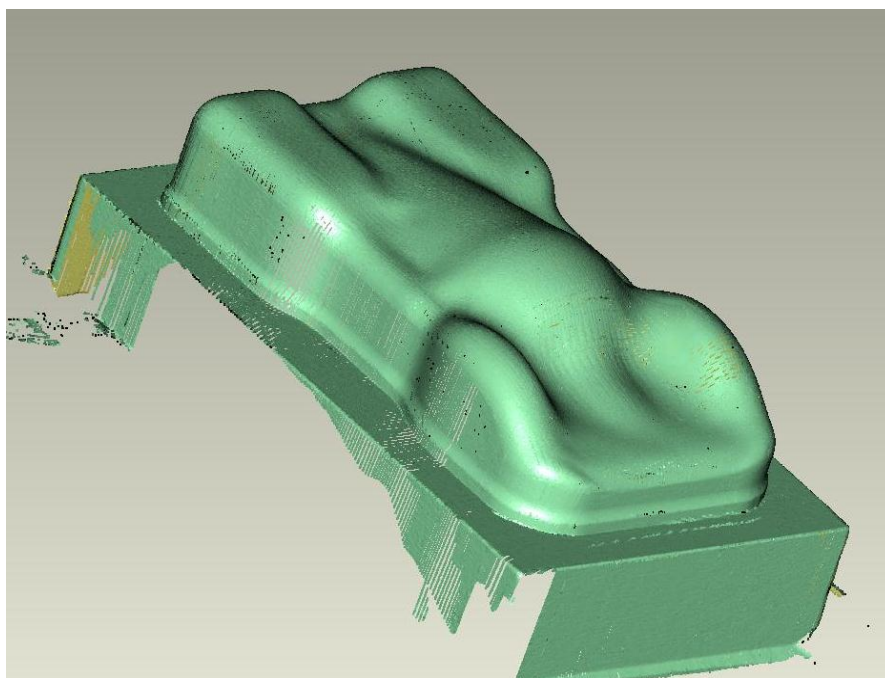


*Kuva 11. Skanneri toiminnassa*



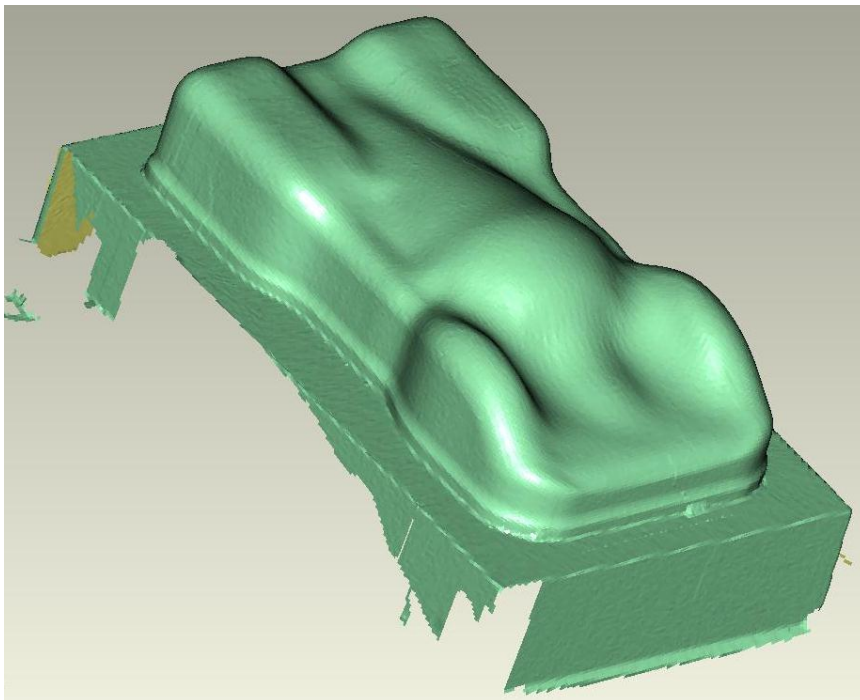
*Kuva 12. Skannerin säde*

Skannaus aloitetaan viemällä laite noin 15 cm päähän kohteesta ja painamalla skannerin kädensijassa olevaa nappia, jolloin skanneri alkaa skannata kohdetta viivakoodinlukijatyypillisellä laserjuovalla. Oikean skannausetäisyyden näkee skannerin päällä olevasta kahdesta merkkivalosta sekä tietokoneen näytöllä olevasta etäisyyden kuvajasta. Kappale skannattiin sivuilta ja päältä tasaisella liikkeellä, samalla kun tietokoneen näytöltä näki, mistä kohdasta puuttui vielä koordinaattipisteitä. Kokonaisuudessaan skannaus kesti noin kymmenen minuuttia.



*Kuva 13. Skannauksen jälkeen pistepilvi rawdata-muodossa 2,17 miljoonaa pistettä*

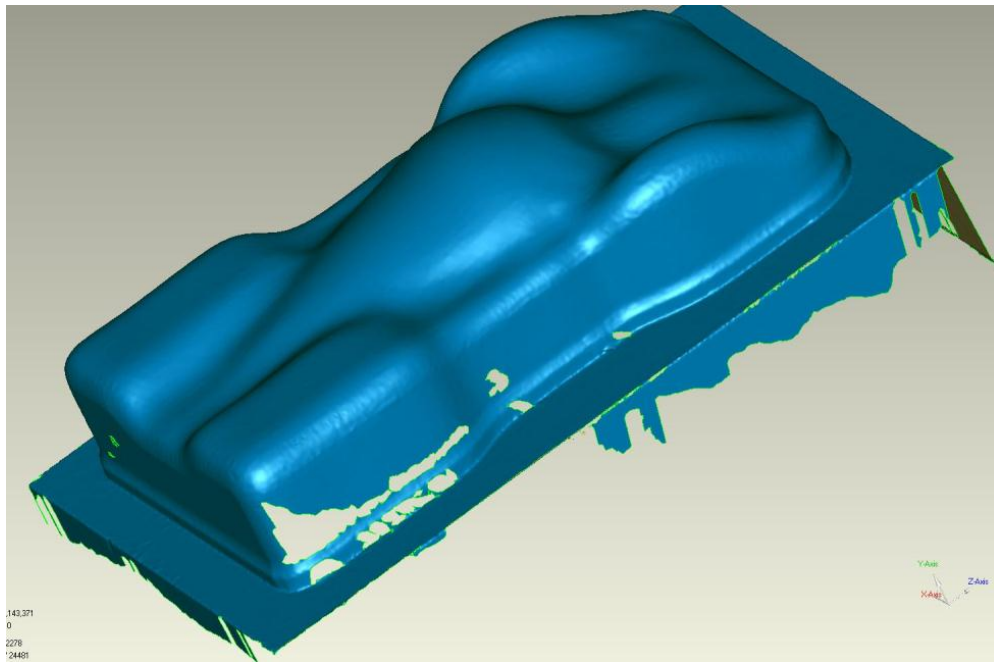
Kun skannerin muodostamaa pistepilveä tarkasteltiin skannauksen jälkeen, näkyi kappaleessa tyhjiä kohtia, joista skanneri ei ollut ottanut pisteitä. Nämä puuttuvat pisteet korjattiin ohjelman avulla.



*Kuva 14. Pistepilvi korjatussa muodossa*

Pistepilven käsittelyn jälkeen data siirrettiin tehokkaammalle tietokoneelle varsinaista muokkausta varten.

Varsinainen kuvankäsittely kappaleelle alkoi pistepilven muuttamisella polygonimalliksi. Ensimmäisen polygonimallin kohdalla näkee, millaisia virheitä ja/tai puutteita pelkkä skannerilla saatu data sisältää.

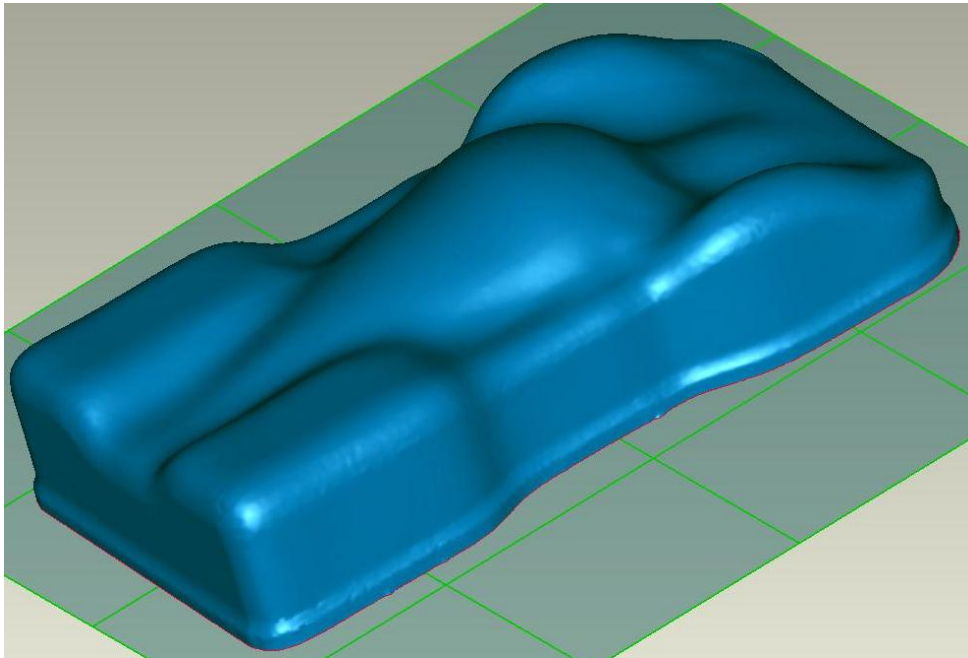


*Kuva 15. Ensimmäinen polygonimalli korjatun pistepilven kohdalta, kolmioita noin 1,14 miljoonaa*

Polygonimallia muokattiin ”paikkaamalla” kuvassa näkyvät reiät ja siloittamalla kapaleen korin ja alustan väliset kulmat. Suurimmaksi osaksi nämä virheet johtuivat siitä, että skannerin lähettämät lasersäteet peilautuivat kulmista. Eräs laserskannauksen haaste on juuri kulmien ja erityisesti reikien skannaus lasersäteiden kimpoillessa seinämistä.

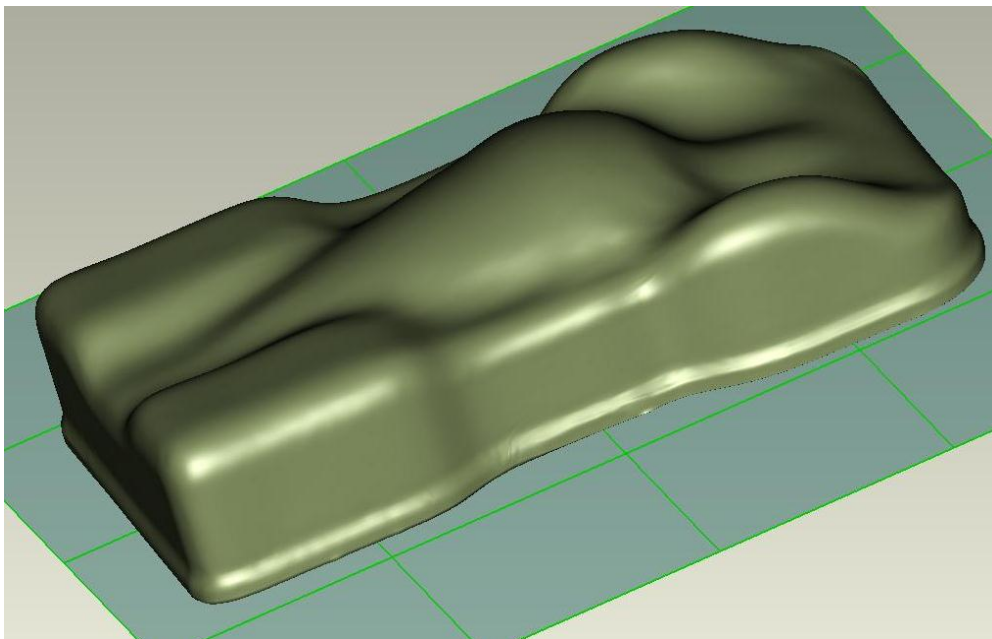
Aikaa korjauksien tekemiseen kului noin puoli tuntia, josta suuri osa kului odotettaessa tietokoneen laskutoimituksia. Lopputuloksena saatu polygonimalli on usein jo riittävä asiakkaalle ja sen muokkaus on lähtökohtaisesti helpompaa kuin pidemmälle muokatun pintamallin.





*Kuva 16. Viimeisteltty polygonimalli*

Viimeisenä vaiheena oli pintamallin tekeminen polygonimallin pohjalta. Pintamalli tehtiin melko nopeasti, jolloin lähinnä muokattiin kaarevia muotoja ja pinnanlaatua paremmaksi. Lopputuloksena olivat CAD- ja NURBS-muotoiset pintamallit.



*Kuva 17. NURBS-muodossa (Non-Uniform Rational B-Splines)*

## 11 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Rocket-hankkeeseen liittyvän Kymenlaakson ammattikorkeakoulun rapid prototypingin kehittämisen yhtenä suurimpana askeleena on oikean laitteiston hankkiminen. Uuden pikamallinnuskoneen tai 3D-skannerin valintaa ajatellen olennaisin rajaava tekijä on budjetti. Käytettävissä olevasta budjetista ei ole tarkkaa tietoa, joten oletuksena tässä johtopäätöksessä on, että laitteen hinnan tulisi olla kohtuullinen. Hinnan suhteen on huomioitava eri laitemerkkien edustajien määrä ja kilpailutilanne. Tyypillinen tilanne on, että yhtä laitemerkkiä myy ja edustaa Suomessa vain yksi yritys.

Pikamallinnuskoneen kustannukset ovat suuret ja käyttöaste on vaikea saada korkeaksi, jolloin yksikin pikamallinnuskone on vaikea kuolettaa. Alan kehitys on nopeaa, jolloin väärin perustein hankitun laitteiston arvo ja käytettävyys laskee nopeasti. Ennen pikamallinnuslaitteen hankintaa tulisi olla selkeä liikeidea tai toimintamalli koneen hyödyntämiseksi. Tämän jälkeen tulisi laitteella olla vielä oma käyttäjänsä, jotta käyttöaste pystyttäisiin pitämään korkeana. Mikäli KyAMK:n muotoiluun hankitaan uusi pikamallinnuskone, ei ole järkevin vaihtoehto hankkia Kotkaan toista pikamallinnuskonetta.

Tämänhetkisessä tilanteessa pikamallinnuskonetta edullisempi ja käytettävyydeltään monipuolisempi hankinta olisi 3D-skanneri. Skannerin hankinta sopii myös muotoilun yksikön suunnittelemaan mallinnusstudiokonseptiin. Skannerin hankintakustannukset ovat kohtuulliset ja käyttökustannuksia aiheutuu lähinnä mahdollisista ohjelmistolisensseistä. Skanneria on mahdollista käyttää omissa projekteissa, esimerkiksi käänteisessä suunnittelussa, sekä myös tuotekehityksen tukena Kouvolan muotoilun puolella.

Uuden 3D-skannerin hankinnassa ratkaiseva tekijä on sen käyttötarkoitus. Skannerihankinnan kokonaiskustannukset ovat vähintään noin 15 000 euroa, jolloin laitteen käytölle tulee olla selkeät suunnitelmat. Jos skannerin käyttö tulee painottumaan erityyppisiin mittatarkkojen osien skannaukseen, kuten valmiiden kappaleiden laaduntarkastukseen, voisi aiemmin esitelty HAMK:n mittavarsi-laserskanneriyhdistelmä olla hyvä hankinta. Laitteistolla voisi suorittaa myös suurempien kappaleiden skannausta, koh-



tuuden rajoissa. Hintaa laitteistolle tulisi kuitenkin useampia kymmeniä tuhansia euroja, eikä liikuteltavuus ja suurien kappaleiden, kuten veneiden, skannaus olisi mielekäs-tä.

Kannettava laserskanneri on liikuteltavuudeltaan ja nopeudeltaan parempi kuin kiinte-än asennuksen vaativa. Pyysin Planix Oy:ltä tarjouksen Z Corporationin kannettavista 3D-skannereista (Liite 1). Mallikohtaiset erot skannereilla (Liite 2) ovat mittauksen nopeudessa ja resoluutiossa. Halvimman ja kalleimman mallin välinen hintaero on merkittävä, joten on harkittava, tarvitseeko parempia ominaisuuksia normaalissa työs-kentelyssä. Suurin rajoittava tekijä kannettavissa skannereissa on skannattavan kappaleen koko, sillä skannerin tarvitsemia referenssipisteitä on vaikea kiinnittää kahvikup-pia pienempiin esineisiin.

Tässä työssä kerrotaan perusteet pikamallinnuksesta ja 3D-skannauksesta tuotekehi-tyksen osalta, mutta edellä mainittujen aiheiden maailma on erittäin laaja tekniikoiden ja sovellusten jatkuvasti kehittyessä. Vaikka pikamallinnus on laaja aihealue, Suomes-sa ei alan julkaisuja juurikaan ole ja tämä vaikeutti tiedonhankintaa ja jonkin verran asiakokonaisuuden hallintaa.

Ennen päätöstä Kymenlaakson ammattikorkeakouluun hankittavasta skannerista, tulee vielä selvittää tarkemmin laitteen käyttötarkoitukset ja budjetin rajoitteet. Koska nä-mä tiedot ovat puutteelliset, on mahdotonta osoittaa yhtä oikeaa skanneria, joka olisi optimaalinen KyAMK:n tarpeisiin.

## LÄHTEET

1. Projektin kuvaus, Vipuvoimaa EU:lta, Saatavissa:  
<https://www.eura2007.fi/rrtiepa/projekti.php?projektikoodi=A31052> [viitattu 8.10.2010]
2. Mediatiedote. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Saatavissa:  
[http://www.kyamk.fi/Ajankohtaista/Mediatiedotteet/?news\\_id=434](http://www.kyamk.fi/Ajankohtaista/Mediatiedotteet/?news_id=434) [viitattu 8.10.2010]
3. Prototyping history and prototype development information. Prototypezone. Saatavissa: <http://www.prototypezone.com/prototype/prototyping-history-and-prototype-development-information> [viitattu 15.10.2009]
4. Tuomi, J. 2003: Lisensiaatintutkimus
5. Pikavalmistuksen sovellusmahdollisuuksien kehittyminen 1990 - 2010, Finnish Rapid Prototyping Association – FIRPA. Saatavissa:  
[http://www.isv.hut.fi/firpa/Pikavalmistuksen\\_sovellusmahdollisuuksien\\_kehittyminen\\_1990\\_-\\_2010.pdf](http://www.isv.hut.fi/firpa/Pikavalmistuksen_sovellusmahdollisuuksien_kehittyminen_1990_-_2010.pdf) (viitattu 16.4.2010)
6. Stereolitografia, Taideteollinen korkeakoulu - virtuaaliyliopisto. Saatavissa:  
[http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/pikamallit/01-10\\_sla-st.html](http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/pikamallit/01-10_sla-st.html) (viitattu 3.1.2010)
7. SLA-periaatekuva. CustomPartNet, Saatavissa:  
<http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography> [viitattu 6.9.2010]
8. SLS-periaatekuva. CustomPartNet. Saatavissa:  
<http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography> [viitattu 6.9.2010]

9 FDM-periaatekuva, CustomPartNet. Saatavissa:

<http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling> [viitattu 6.9.2010]

10. Haapanen, A. Haastattelu 19.10.2010. KyAMK

11. LOM-periaatekuva, CustomPartNet. Saatavissa:

<http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing> [viitattu 6.9.2010]

12. Wohlers, T. 2008: Wohlers Report 2008

13. 3D-tulostus -periaatekuva. CustomPartNet. Saatavissa:

<http://www.custompartnet.com/wu/3d-printing> [viitattu 6.9.2010]

14. Aarnio, S. Haastattelu 25.10.2010. HAMK

15. Alphaform RPI Oy, Yrityksen internetsivut. Saatavissa:

[http://www.alphaform.fi/yritys\\_2](http://www.alphaform.fi/yritys_2) [viitattu 24.10.2010]

16. Koordinaattimittalaite, Direct Industry. Saatavissa:

<http://www.directindustry.com/prod/nikon-metrology/bridge-type-coordinate-measuring-machine-cmm-21023-438096.html> [viitattu 12.9.2010]

17. Artec TDSS 3D: n esite, Digima Oy, Saatavissa:

<http://rensi.fi/fin/products/mittauslaitteet-ja-skannerit/artec-3d-skannerit/7646/> [viitattu 4.5.2010]

18. Myllärinen, A. Haastattelu 21.4.2010. HAMK

Kuvat 10-17 on otettu tutustumiskäynnillä HAMK:ssa

## LIITTEET

Liite 1

## Planix Oy:n tarjoukset Zscanner-laitteista ja ohjelmistoista

## 3D-skannerit

<b>Merkki</b>	<b>Malli</b>	<b>Hinta oppilaitoksille</b>
Z Corporation	600	25 000 €
Z Corporation	700*	27 900 €
Z Corporation	800	35 000 €

<b>Ohjelmisto</b>		<b>Hinta oppilaitoksille</b>
Geomagic Studio		4 900 €

\*Lisäksi olemassa 700CX- ja 700PX-mallit, jotka perustuvat 700-malliin, näiden tarkkaa hintaa ei tarjouksessa mainittu.

## ZScanner® Product Line



ZScanner® 600



ZScanner® 700



ZScanner® 700 CX



ZScanner® 700 PX



ZScanner® 800

	ZScanner® 600	ZScanner® 700	ZScanner® 700 CX	ZScanner® 700 PX	ZScanner® 800
Overview	Economical, handheld, portable, easy to use	Handheld, portable, easy to use, professional accuracy	Color, handheld	Large-scale, ALCON photogrammetry, portable, easy to use	Benefits of ZScanner 700, plus 5X higher resolution
Applications	Design, manufacturing, cultural heritage	Reverse engineering, design, manufacturing, digital mockups, simulations	Reverse engineering, design, manufacturing, digital mockups, simulations, digital archiving, animation, packaging, medical orthosis, education, cultural heritage, art applications	3D scanning very large objects, reverse engineering, 3D inspection	Reverse engineering, design, manufacturing, digital mockups, simulations, 3D inspection applications
Weight	0.98 kg (2.1 lbs)	0.98 kg (2.1 lbs)	1.3 kg (2.85 lbs)	1.27 kg (2.80 lbs)	1.25 kg (2.75 lbs)
Dimensions	160 x 260 x 210 mm (6.2 x 10.2 x 8.2 inches)	160 x 260 x 210 mm (6.2 x 10.2 x 8.2 inches)	172 x 260 x 216 mm (6.75 x 10.2 x 8.5 inches)	172 x 260 x 216 mm (6.75 x 10.2 x 8.5 inches)	171 x 260 x 216 mm (6.75 x 10.2 x 8.5 inches)
Sampling Speed	18,000 measurements per second	18,000 measurements per second	18,000 measurements per second	18,000 measurements per second	25,000 measurements per second
Laser	Class II (eye safe)	Class II (eye safe)	Class II (eye safe)	Class II (eye safe)	Class II (eye safe)
Number of Cameras	2	2	3	3	3
XY Accuracy	Up to 80 microns (up to 0.003 inches)	Up to 50 microns (up to 0.002 inches)	Up to 50 microns (up to 0.002 inches)	Up to 50 microns (up to 0.002 inches)	Up to 40 microns (up to 0.0015 inches)
Resolution	0.1 mm in Z (0.004 inches in Z)	0.1 mm in Z (0.004 inches in Z)	0.1 mm in Z (0.004 inches in Z)	0.1 mm in XYZ (0.004 inches in XYZ)	0.050 mm in XYZ (0.0019 inches in XYZ)
ISO	50 µm + 250 µm/m	20 µm + 0.2 L / 1000	20 µm + 0.2 L / 1000	20 µm + 25 µm/m	20 µm + 0.1 L / 1000
Texture Resolution			50 to 250 DPI (user-configurable)		
Texture Color			24 bits, sRGB-calibrated		
Depth of Field	30 cm (12 inches)	30 cm (12 inches)	30 cm (12 inches)	30 cm (12 inches)	30 cm (12 inches)
Exported File Formats	.DAE, .FBX, .MA, .OBJ, .PLY, .STL, .TXT, .WRL, .X3D, .X3DZ, .ZPR	.DAE, .FBX, .MA, .OBJ, .PLY, .STL, .TXT, .WRL, .X3D, .X3DZ, .ZPR	.DAE, .FBX, .MA, .OBJ, .PLY, .STL, .TXT, .WRL, .X3D, .X3DZ, .ZPR	.DAE, .FBX, .MA, .OBJ, .PLY, .STL, .TXT, .WRL, .X3D, .X3DZ, .ZPR	.DAE, .FBX, .MA, .OBJ, .PLY, .STL, .TXT, .WRL, .X3D, .X3DZ, .ZPR
Regulatory Compliance	CE	CE	CE	CE	CE
Data Transfer	FireWire	FireWire	FireWire	FireWire	FireWire
Power Source	FireWire	FireWire	FireWire	FireWire	FireWire
Laptop Compatibility	Intel®, Core™ 2 Duo processor, 2GB RAM, NVIDIA Quadro NVS 320M graphics (256 MB dedicated video memory) required with Windows Vista® Business or Windows® XP Professional	Intel®, Core™ 2 Duo processor, 2GB RAM, NVIDIA Quadro NVS 320M graphics (256 MB dedicated video memory) required with Windows Vista® Business or Windows® XP Professional	Intel®, Core™ 2 Duo processor, 4GB RAM, NVIDIA Quadro NVS 320M graphics (256 MB dedicated video memory) required with Windows Vista® Business 64-bit or Windows® XP Professional 64-bit	Intel®, Core™ 2 Duo processor, 4GB RAM, NVIDIA Quadro NVS 320M graphics (256 MB dedicated video memory) required with Windows Vista® Business 64-bit or Windows® XP Professional 64-bit	Intel®, Core™ 2 Duo processor, 4GB RAM, NVIDIA Quadro NVS 320M graphics (256 MB dedicated video memory) required with Windows Vista® Business 64-bit or Windows® XP Professional 64-bit
Package Software	ZScan® Lite	ZScan®	ZScan®	ZScan®	ZScan®